

Devoir surveillé n°2 : Chimie

samedi 22 novembre 2025

4h00

L'usage d'une calculatrice est autorisé.

CONSEILS

- Vous êtes invités à porter une attention toute particulière à la rédaction : toute réponse doit être justifiée.
 - Soignez votre copie : soyez lisible et encadrez vos résultats. Soyez précis et concis.
 - N'oubliez pas les unités des grandeurs dimensionnées. Un résultat sans unité adaptée est faux.
 - Lorsque l'on demande la formule d'une molécule, il faut donner la formule entière. Sauf mention contraire, les écritures topologiques sont recommandées. Il est possible d'utiliser des versions simplifiées des molécules, mais dans les mécanismes uniquement.
 - Les différents problèmes sont indépendants. Il est fortement recommandé de lire l'ensemble du sujet pour ne pas passer à côté de questions que vous savez faire.
-

Répartition du DS :

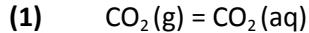
- Première partie plus proche des épreuves du concours et plus génératrice en points
- Deuxième partie plus proche du cours qui rapporte beaucoup moins de points.

Consigne : Ne faites la deuxième partie que si vous n'arrivez plus à la première

Partie 1 :

Problème 1 : Dissolution du dioxyde de carbone dans l'eau

On étudie l'équilibre isotherme isobare de dissolution du dioxyde de carbone gazeux en phase aqueuse :



1.1. Donner l'expression de μ_G potentiel chimique du $\text{CO}_2(\text{g})$ à la température T , pour une pression partielle en CO_2 notée p_{CO_2} en fonction de μ_G° potentiel chimique standard de $\text{CO}_{2(\text{g})}$ à la même température, de $p_{\text{CO}_2}^\circ$, de la pression standard p° et de la température T .

1.2. Donner l'expression de μ_L potentiel chimique du $\text{CO}_2(\text{aq})$ à la température T , pour une concentration en CO_2 notée $[\text{CO}_2]$ en fonction de $\mu_L^{0,\infty}$ potentiel chimique standard de $\text{CO}_2(\text{aq})$ à la même température, de $[\text{CO}_2]$, de la concentration molaire standard $c^\circ = 1 \text{ mol.L}^{-1}$ et de T . On supposera idéale la solution diluée.

2.1. Le système étudié est composé de dioxyde de carbone gazeux en équilibre avec une solution contenant du dioxyde de carbone dissout. Ce système étant à l'équilibre thermodynamique, exprimer la différentielle de l'enthalpie libre dG en fonction des potentiels chimiques et en déduire, à l'équilibre, une relation entre les potentiels chimiques du dioxyde de carbone dans les différentes phases.

2.2 En déduire une expression de $[\text{CO}_2]$, la concentration molaire en CO_2 , en fonction de μ_L° , μ_G° , p° , c° et p_{CO_2} .

2.3. On donne $p_{\text{CO}_2} = 360 \mu\text{bar}$, calculer la concentration molaire en dioxyde de carbone dissous dans l'eau à 298 K.

3.1. Montrer que :

$$\left(\frac{\partial \mu_i}{\partial T} \right)_{P,n_i} = -S_{m,i}$$

3.2. Calculer les potentiels standard μ_G° et μ_L° à la température de 278 K.

3.3. En déduire la valeur de $[\text{CO}_2]$ pour le système précédent si on est à l'équilibre à 278K (avec toujours $p_{\text{CO}_2} = 360 \mu\text{bar}$).

4. En déduire dans quelles zones du globe terrestre l'océan joue le plus son rôle de pompe physique à CO_2 .

5. En raisonnant sur les potentiels chimiques, déterminer l'influence d'une augmentation de pression partielle en $\text{CO}_{2(\text{g})}$, à température constante, sur la solubilisation du dioxyde de carbone dans l'eau ? Justifier.

Données thermodynamiques :

Les ions sont tous supposés dissous en solution aqueuse et les gaz sont supposés parfaits.

Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Entropies molaires standard à 298K : $S_m^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = 213 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ et $S_m^\circ(\text{CO}_2, \text{aq}) = 115 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Potentiel chimiques standard pour CO_2 à 298 K : $\mu_L^\circ = 12,0 \text{ kJ.mol}^{-1}$; $\mu_G^\circ = 3,15 \text{ kJ.mol}^{-1}$

Problème 2 : Propulsion de fusées

Dans le domaine de l'astronautique, la combustion destinée à fournir l'énergie nécessaire à la propulsion ne peut pas utiliser le dioxygène de l'air comme comburant. Les ergols sont les différentes substances embarquées. On parle de monergol lorsqu'un composé est employé seul et de propergol lorsque l'association d'ergols permet la transformation chimique.

La sonde Rosetta de l'Agence Spatiale Européenne a transporté Philae à quelques 510 millions de kilomètres de la Terre jusqu'à ce qu'il se pose sur la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko le 12 novembre 2014, plus de 10 ans après avoir quitté la Terre. Rosette est propulsée grâce à des dérivés de l'hydrazine, dont la monométhylhydrazine $\text{CH}_3\text{-NH-NH}_2$ associée au peroxyde d'azote.

Document : Hydrazine (Société Chimique de France)

En tant que réducteur, l'hydrazine N_2H_4 est très appréciée, car les produits de son oxydation sont le diazote et l'eau. Elle a été utilisée comme anti-oxydant et inhibiteur de corrosion dans les chaudières et les eaux des circuits de chauffage, mais elle est maintenant remplacée par la diéthylhydroxylamine, moins toxique. En milieu électrolytique, l'hydrazine réduit les sels métalliques. On l'utilise aussi pour la séparation du plutonium des autres radioéléments contenus dans les déchets nucléaires. D'autres applications dans la production des fibres d'élasthanne, comme catalyseur de polymérisation, le flux pour le soudage des métaux, ont vu progressivement le jour. Ses sels comme les nitrates, les chlorates, sont explosifs. L'astrolite, mélange de diméthyl-1,1-hydrazine et de nitrate d'ammonium est un explosif soufflant.



L'hydrazine fut utilisée comme carburant pour fusées à la fin de la Seconde Guerre mondiale et pour les avions Messerschmitt Me 163 (le premier avion de chasse à réaction). Mélangé à du méthanol, il était utilisé comme carburant avec du peroxyde d'hydrogène à 80 %, au contact duquel il s'enflammait spontanément en une réaction très énergétique.

Actuellement, l'hydrazine est un propergol toujours utilisé dans les fusées en combinaison avec le peroxyde d'azote N_2O_4 . C'est ce mélange qui a permis les décollages depuis la Lune.

L'hydrazine est également employée seule comme monergol dans les moteurs à faible poussée (mais de grande précision) permettant le positionnement sur orbite des satellites, des navettes et sondes spatiales. Dans ce cas, la poussée est assurée par décomposition catalytique de l'hydrazine et non par combustion. Cette décomposition est très rapide lorsque l'hydrazine est mise en contact avec de l'iridium déposé sur alumine ou différents composés du molybdène : $4 \text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow 4 \text{N}_2(\text{g}) + 8 \text{H}_2(\text{g})$.

La température monte en quelques millisecondes à 800 °C et fournit un très grand volume de gaz chauds pour de faibles quantités d'hydrazine.

Combustion par le dioxygène dans le Messerschmitt Me 163

Dans l'atmosphère terrestre, la quantité de dioxygène est suffisante pour envisager son utilisation en tant que comburant.

1.1 A partir des données d'énergie de liaison, calculer à 298 K l'enthalpie standard de formation de N_2H_4 (g).

1.2. En déduire à 298 K l'enthalpie standard de formation de N_2H_4 (l).

2. On considère l'équation de réaction modélisant la combustion de N_2H_4 (l) par le dioxygène gazeux formant H_2O (g) et N_2 (g).

2.1. Justifier que les enthalpies standards de formation soient nulles pour certains de ces composés.

2.2. Déterminer l'enthalpie standard de réaction associée à l'équation de combustion de N_2H_4 (l).

3. En déduire l'énergie libérée par la combustion de 1,0 L d'hydrazine à 298 K sous une pression constante de 1,0 bar.

4. Calculer l'énergie libérée par la combustion du même volume de dihydrogène gazeux dans les mêmes conditions. Que peut-on conclure sur l'intérêt relatif de ce carburant vis-à-vis d'une application en aéronautique ?

Propulsion des fusées actuelles

La monométhylhydrazine MMH (CH_3N_2 (l)) est un propergol utilisé en association avec le peroxyde d'azote N_2O_4 (g) qui est le comburant.

Le pouvoir de propulsion d'un propergol est directement lié à la quantité de produits gazeux émis par la combustion d'un gramme de mélange stœchiométrique propergol/comburant.

5. Sachant que la réaction de N_2O_4 avec MMH conduit à la formation de diazote, de dioxyde de carbone et d'eau (sous forme gazeuse), écrire l'équation de la réaction avec un nombre stœchiométrique unité pour la MMH.

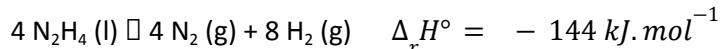
6. Déterminer littéralement la quantité de matière n_1 de MMH contenue dans $m_0 = 1 \text{ g}$ de mélange stœchiométrique MMH/ N_2O_4 . Effectuer l'application numérique.

7. En déduire la quantité de matière n_{gaz} de produits gazeux émise par la combustion d'un gramme de ce mélange. Commenter l'intérêt en matière de propulsion.

Mise en orbite des satellites

Aujourd'hui, l'hydrazine est utilisée seule comme monergol dans les moteurs à faible poussée (mais grande précision) permettant le positionnement sur orbite des satellites. La poussée est alors assurée par décomposition catalytique de l'hydrazine et non par combustion.

L'énergie chimique est fournie par la décomposition de l'hydrazine liquide en ammoniac et diazote gazeux :



On considère que la décomposition s'effectue de façon isobare et totale dans un réacteur calorifugé.

8. Commenter le signe de l'enthalpie standard de réaction. Quel est l'intérêt pour la propulsion de la fusée ?

9. Déterminer la valeur de la température du mélange gazeux en fin de décomposition de n moles d'hydrazine initialement à 298 K.

10. Quel volume d'hydrazine faut-il embarquer pour assurer le positionnement final d'un satellite sur son orbite, sachant que l'opération nécessite 24 MJ ?

Données thermodynamiques à 298 K :

- *Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.*
- *Hydrazine :*
 - *Masse volumique de l'hydrazine : $\rho_{\text{N}_2\text{H}_4} = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$*
 - *Enthalpie standard de vaporisation de l'hydrazine : $\Delta_{\text{vap}}H^\circ(\text{N}_2\text{H}_4) = 51 \text{ kJ.mol}^{-1}$*
- *Masses molaires atomiques :*

Elément	H	C	N	O
$M \text{ (g.mol}^{-1})$	1,0	12	14	16

- *Enthalpies standard de formation :*

Composé	$\text{H}_2\text{ (g)}$	$\text{CO}_2\text{ (g)}$	$\text{O}_2\text{ (g)}$	$\text{N}_2\text{ (g)}$	$\text{H}_2\text{O} \text{ (g)}$
$\Delta_f H^\circ \text{ (kJ.mol}^{-1})$	0	- 348	0	0	- 348
$C_{p,m} \text{ (J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1})$	27	52	34	30	33

- *Energies de liaison :*

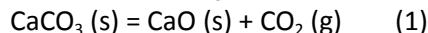
Liaison	H-H	O-H	N-H	N-N	N=N	N≡N
$\Delta_{\text{diss}}H^\circ \text{ (kJ.mol}^{-1})$	432	459	386	247	418	942

- Masse volumique du dihydrogène gazeux : $\rho_{\text{H}_2} = 9,0 \times 10^{-2} \text{ g.L}^{-1}$

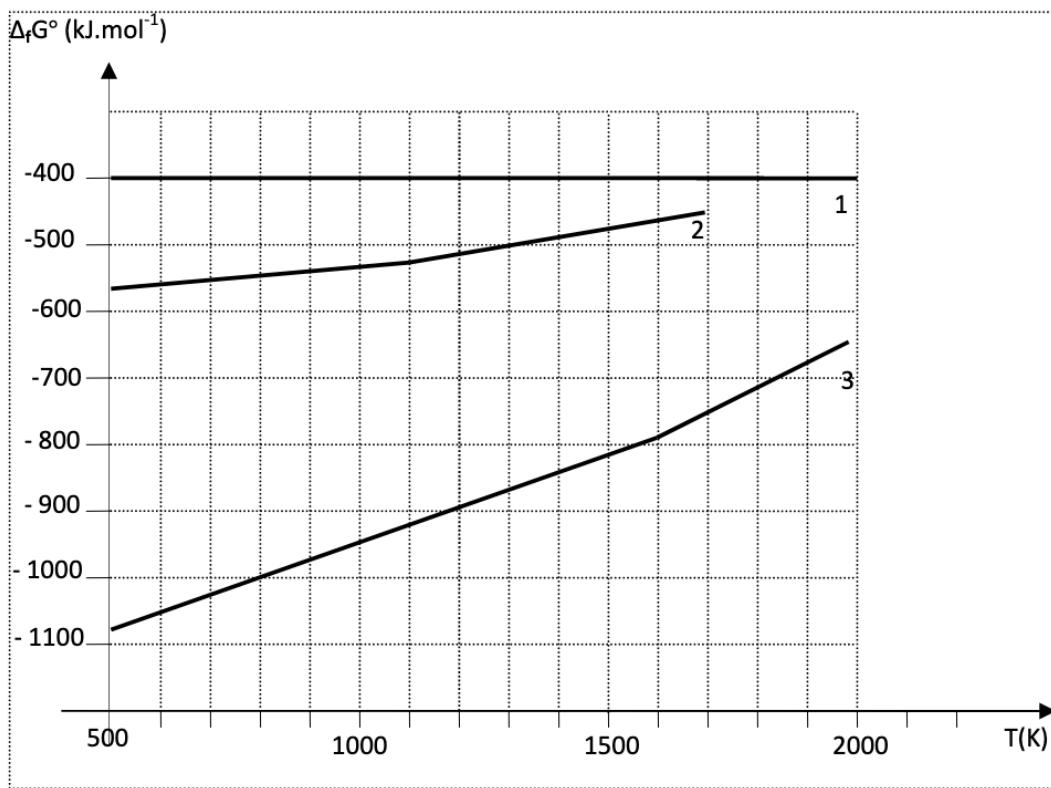
Problème 3 : Autour de la chaux

Obtention de la chaux vive

La chaux vive est obtenue par calcination du calcaire CaCO_3 dans un four à chaux aux environs de 900°C.



Le tracé des courbes enthalpie libre de formation $\Delta_f G^\circ$ en fonction de la température pour ces trois espèces chimiques est représenté ci-dessous :



1.1. Quelle(s) hypothèse(s) ont été formulée(s) pour que des portions de droites soient obtenues ?

1.2. A quoi correspondent les ruptures de pente sur ce graphique ?

2.1. Écrire les réactions de formation pour $\text{CaCO}_3(s)$, $\text{CaO}(s)$ et $\text{CO}_2(g)$.

2.2. Prévoir qualitativement le signe de $\Delta_f S^\circ$ pour ces trois réactions de formation.

2.3. En déduire quelle courbe du diagramme est relative à $\text{CO}_2(g)$.

3.1. Retrouver à l'aide des données l'équation de la droite $\Delta_f G^\circ_a(T)$ pour la formation de l'oxyde de calcium CaO pour une température comprise entre 500 K et 1115 K.

3.2. Retrouver à l'aide des données l'équation de la droite $\Delta_f G^\circ_b(T)$ pour la formation de l'oxyde de calcium CaO pour une température comprise entre 1115 K et 1750 K.

3.3. Associer au numéro des courbes l'espèce correspondante.

Données :

Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Nombre d'Avogadro : $N_a = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Numéro atomique : $Z(\text{H}) = 1$; $Z(\text{C}) = 6$; $Z(\text{N}) = 7$; $Z(\text{O}) = 8$; $Z(\text{Ca}) = 20$

Masses molaires (g.mol^{-1}) :

Ca	C	O	H	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
40,0	12,0	16,0	1,0	74,0

Données thermodynamiques à 298 K :

	Capacité calorifique molaire (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	Enthalpie standard de formation Δ _f H° (kJ.mol ⁻¹)	Entropie molaire standard S° (J.K ⁻¹ .mol ⁻¹)
CaCO ₃ (s)		- 1207	92,9
CaO (s)		- 633	40,3
CO ₂ (g)	36,9	- 393	213,8
C (s)			5,7
O ₂ (g)	29,4		204,8
Ca (s)			41,7
C ₂ H ₂ (g)	43,7	226	200,9
H ₂ O (g)	36,2	-242	188,7
N ₂ (g)	29,3		191,3

Enthalpie standard de fusion du calcium : Δ_{fus}H°(Ca) = 9,4 kJ.mol⁻¹

Températures de changement d'état :

	CaCO ₃ (s)	CaO (s)	Ca (s)
Température de fusion T _F (K)	1615	2885	1115
Température d'ébullition T _E (K)	-	-	1757

Exercice

Un mélange liquide de monomère M (3 mol · L⁻¹) et d'inhibiteur I (0,01 mol · L⁻¹) est introduit dans le réacteur avec un débit volumique de 1,2 L · s⁻¹. La vitesse de polymérisation est donnée par la relation :

$$\nu = k_p [M] \sqrt{\frac{k_0 [I]_0}{k_t}}$$

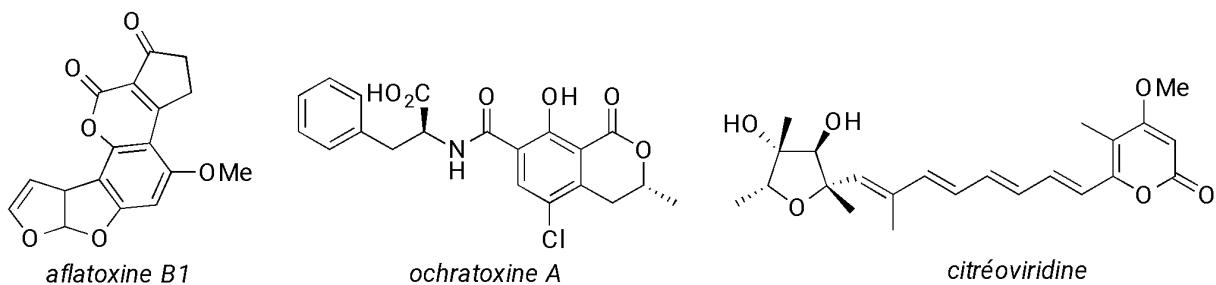
avec :

- [M] la concentration en monomère ;
- [I]₀ la concentration initiale en inhibiteur ;
- k_p la vitesse de propagation (10⁻² L · mol⁻¹ · s⁻¹) ;
- k_0 la vitesse d'initiation (10⁻³ s⁻¹) ;
- k_t la vitesse de terminaison (5.10⁻⁷ L · mol⁻¹ · s⁻¹).

1. Représenter un RCPA et donner les hypothèses associées
2. Effectuer un bilan de matière dans le RCPA pour en déduire le volume nécessaire pour obtenir un taux de conversion de 75%

Problème 4 : Synthèse de la citréoviridine

Plus de 200 espèces de moisissures produisent des agents d'intoxication alimentaire. Il s'agit de mycotoxines dont les manifestations sont nombreuses, certaines étant mutagènes et cancérogènes, d'autres endommageant des organes particuliers (foie, reins, système nerveux...). Elles sont souvent produites sur des céréales moisies comme les *aflatoxines* sur toutes les céréales oléagineuses, les *ochratoxines* sur le maïs, le seigle et l'orge, ou encore la *citréoviridine* sur le riz et l'orge. La structure de chacun de ces composés est proposée ci-dessous :



Le rôle des moisissures dans les toxi-infections n'a attiré l'attention des chercheurs que depuis une trentaine d'années, à la suite de l'intoxication massive de milliers de volailles en Angleterre.

Dans ce problème, nous nous proposons d'étudier la synthèse asymétrique de la *citréoviridine* décrite par le groupe de Williams (*The Journal of Organic Chemistry* **1987**, 52, 5067–5079) à partir de la 3-(benzyloxy)butanone chirale **1** via les intermédiaires **9** et **16** (**schéma 1**) :

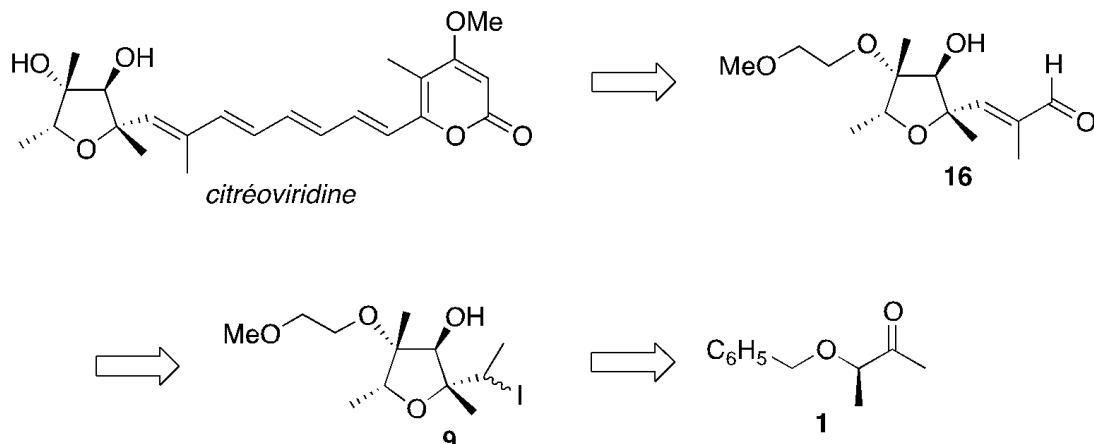


Schéma 1

Synthèse de l'intermédiaire **9**

La synthèse de l'intermédiaire **9** utilise la 3-(benzyloxy)butanone chirale **1** comme composé de départ. Les premières étapes de la synthèse sont données ci-après (schéma 2) :

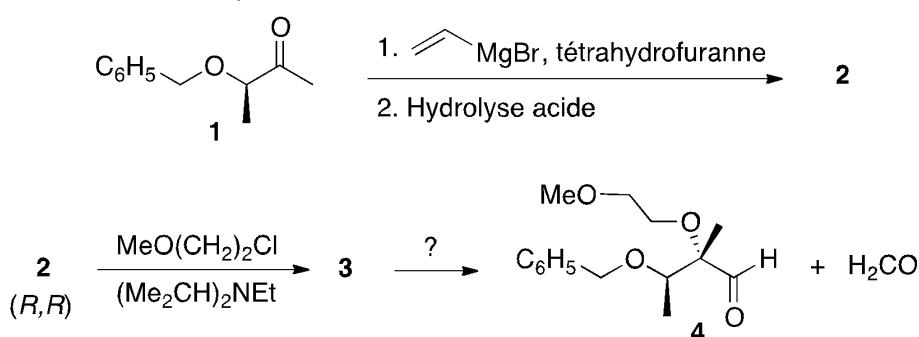


Schéma 2

1. Représenter les deux isomères du composé **2** qui peuvent se former à partir de la 3-(benzyloxy)butanone chirale en indiquant la configuration des carbones asymétriques.
2. Quelle relation d'isomérie lie ces isomères ?

En pratique, les auteurs n'obtiennent que l'isomère du composé **2** de configuration *(R,R)*.

3. Représenter le composé **3**. Écrire le mécanisme de la réaction de formation du composé **3** à partir de l'isomère du produit **2** de configuration *(R,R)* en précisant bien le rôle de la diisopropyléthylamine $((\text{Me}_2\text{CH})_2\text{N-} \text{Et})$.

L'aldéhyde **4** est obtenu à partir du composé **3** par action de NaIO_4 . L'aldéhyde **4** est ensuite mis en réaction avec l'organomagnésien **6** (réactif de Grignard) préparé à partir du bromé vinylique **5** (**schéma 3**) :

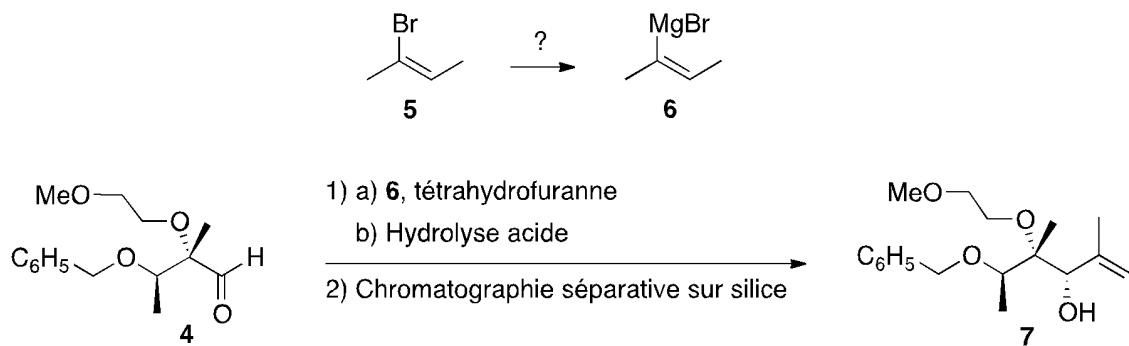
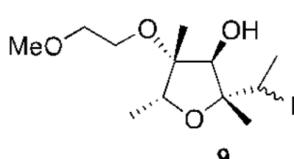


Schéma 3

4. Donner un réactif et les précautions opératoires pour préparer l'organomagnésien **6** à partir du bromé vinylique
5. Écrire les équations des réactions secondaires à éviter.
5. Écrire le mécanisme de la réaction du composé **4** avec l'organomagnésien **6**. A quoi sert la chromatographie séparative sur silice dans ce protocole ?

La synthèse se poursuit par une cyclisation effectuée par réaction d'iodo-éthérification sur le composé **7**, pour obtenir le composé **9**.



Synthèse de l'intermédiaire **16**

La synthèse de l'intermédiaire **16** est ensuite effectuée à partir du composé **9** en six étapes décrites ci-dessous (schéma 4) :

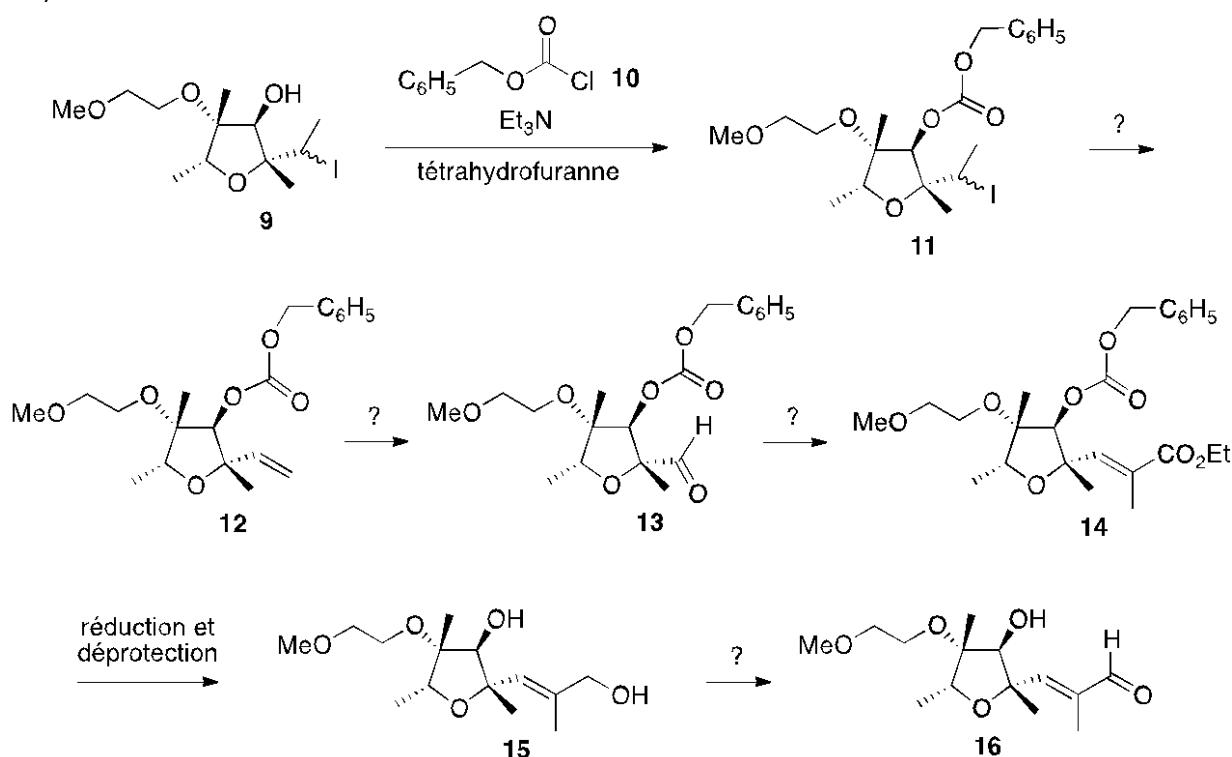


Schéma 4

6. Le composé **9** réagit avec le chlorure de benzyloxyméthanoyle **10** en présence de triéthylamine (Et_3N) et conduit à la formation du produit **11**. Écrire le mécanisme réactionnel de la formation du produit **11**.
7. À quel mécanisme correspond la transformation du dérivé iodé **11** en composé **12** ? Proposer un réactif pour effectuer cette transformation.

8. Proposer un réactif permettant de réduire l'ester du composé **14**.
9. Proposer un réactif pour obtenir l'intermédiaire **16** à partir du composé **15**. Donner la composition de ce réactif. Représenter le produit secondaire de formule brute $C_{14}H_{22}O_5$ également obtenu lors de cette réaction.
10. Quelle est la propriété de la double liaison de l'intermédiaire **16** ?

Les auteurs isolent l'intermédiaire **16** dont la pureté est analysée par chromatographie sur couche mince (CCM), spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton (RMN 1H) et spectroscopie infrarouge (IR).

11.1 L'analyse chromatographique de la pureté de l'intermédiaire **16** est effectuée en déposant sur une même plaque de gel de silice une petite quantité du composé **15** et de l'intermédiaire **16** en solution dans le dichlorométhane. Après élution avec un mélange tétrahydrofurane/dichlorométhane (proportion volumique = 1/4) puis révélation avec une solution de permanganate de potassium, la plaque chromatographique obtenue est la suivante (**figure 1**) :

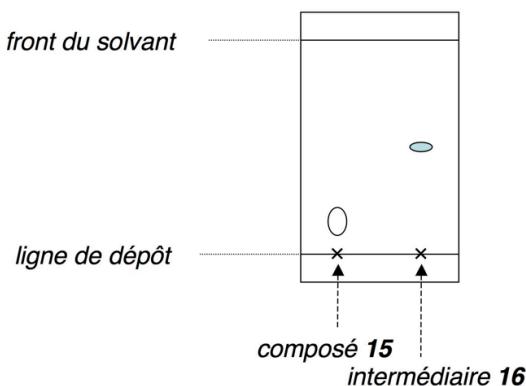


Figure 1

À l'aide de la **figure 1**, calculer les rapports frontaux notés R_f pour le composé **15** et l'intermédiaire **16**. Justifier la position relative des tâches correspondant au composé **15** et à l'intermédiaire **16** en rappelant succinctement le principe de la CCM.

11.2 L'analyse de la pureté de l'intermédiaire **16** par spectroscopie RMN 1H est effectuée en comparant les spectres du composé **15** et de l'intermédiaire **16** obtenus à 360 MHz dans le chloroforme deutéré ($CDCl_3$). Ces spectres présentent, entre autres, des signaux caractéristiques dont les déplacements chimiques δ (exprimés en ppm = partie par million), les multiplicités et le nombre d'hydrogènes correspondant sont donnés ci-dessous.

Composé **15** : 5,74 ppm (singulet, 1 H).

Intermédiaire **16** : 9,15 ppm (singulet, 1 H) et 6,69 ppm (singulet, 1 H).

Proposer une attribution de chacun des signaux à un proton caractéristique du composé **15** et de l'intermédiaire **16** en RMN 1H .

11.3 L'analyse de la pureté de l'intermédiaire **16** par spectroscopie IR est effectuée en comparant les spectres d'absorption du composé **15** et de l'intermédiaire **16**. Ces spectres présentent, entre autre, des bandes d'absorption caractéristiques dont les nombres d'onde (exprimés en cm^{-1}) et les allures sont donnés ci-dessous :

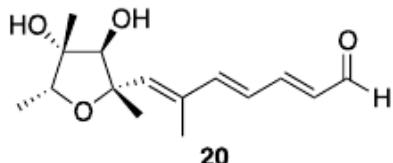
Composé **15** : 3 450 cm^{-1} (intense et large).

Intermédiaire **16** : 3 435 cm^{-1} (intense et large) et 1 680 cm^{-1} (intense).

Proposer une attribution de chacune des bandes d'absorption à un (ou des) groupe(s) caractéristique(s) présent(s) dans le composé **15** et dans l'intermédiaire **16**.

Accès à la citéroviridine

La synthèse de la *citéroviridine* se poursuit. L'intermédiaire **16** est tout d'abord transformé en composé **20** par une suite de réaction qui ne seront pas étudiées ici.



La suite de la synthèse nécessite la préparation de l'espèce organométallique **[22]** par action du diisopropylamidure de lithium (LDA) sur la pyrannone **21** (schéma 5) :

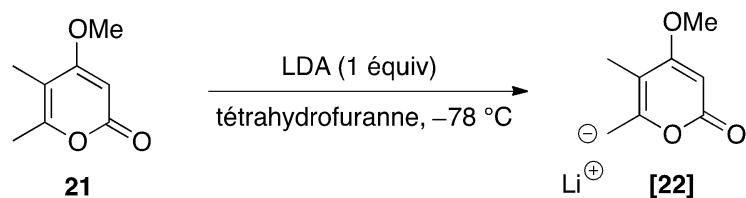


Schéma 5

12.1 Écrire l'équation de la réaction de formation de l'organométallique **[22]** à partir de la pyrannone **21**. (Indice : le groupement isopropyl correspond à $\text{CH}_2-(\text{CH}_3)_2$)

12.2 Écrire toutes les formes mésomères limites respectant la règle de l'octet pour la partie anionique de l'organométallique **[22]**. Justifier pourquoi la déprotonation de l'autre groupement méthyle porté par le cycle de la pyrannone **21** n'est pas observée.

L'accès à la *citréoviridine* est ensuite effectué en trois étapes à partir du composé **20** comme décrit ci-dessous (schéma 6) :

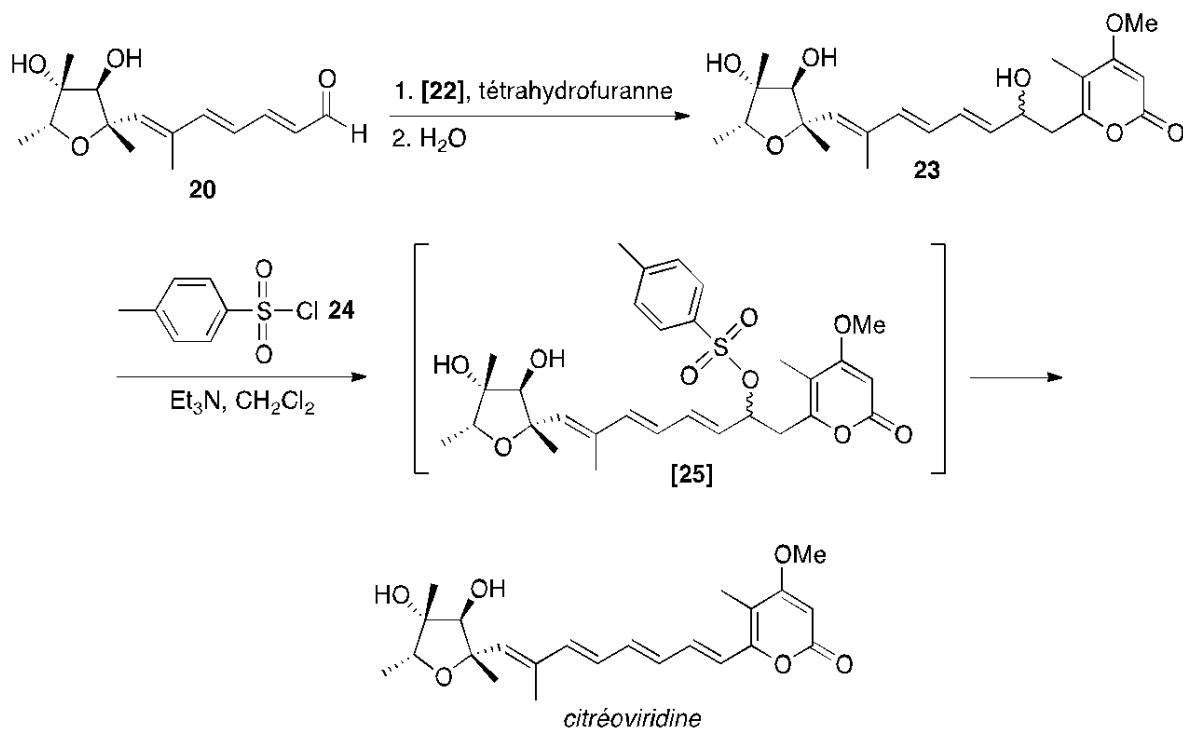


Schéma 8

13. Proposer un mécanisme pour l'obtention du composé **23**.

Le groupe tosylate (figure 2) est un excellent groupe partant très utilisé en synthèse organique :

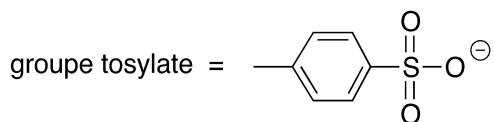


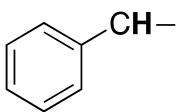
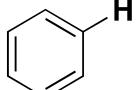
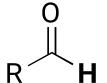
Figure 2

14.1 Justifier pourquoi le groupe tosylate est un excellent groupe partant.

14.2 Normalement, le composé obtenu par réaction entre un alcool et le chlorure de tosyle **24** est stable. Justifier pourquoi, lors de cette synthèse, l'intermédiaire **[25]** obtenu par réaction du composé **23** avec le chlorure de tosyle **24** n'est pas stable et conduit directement à la formation de la *citréoviridine*.

Données spectrales :

RMN ^1H : gamme de déplacements chimiques

Protons	δ (ppm)
$-\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-$	1,7 - 2,4
	2,3 - 2,8
$\text{R}-\text{CO}_2-\text{CH}-$	3,5 - 4,5
$-\text{CH}-\text{N}-$	3,5 - 4,5
$-\text{CH}-\text{O}-$	3,5 - 4,5
$\text{RCH}=\text{CHR}'$	5,0 - 6,8
	7,2 - 7,9
	10,3 - 9,1

Infrarouge : nombre d'onde de vibration de quelques groupes fonctionnels

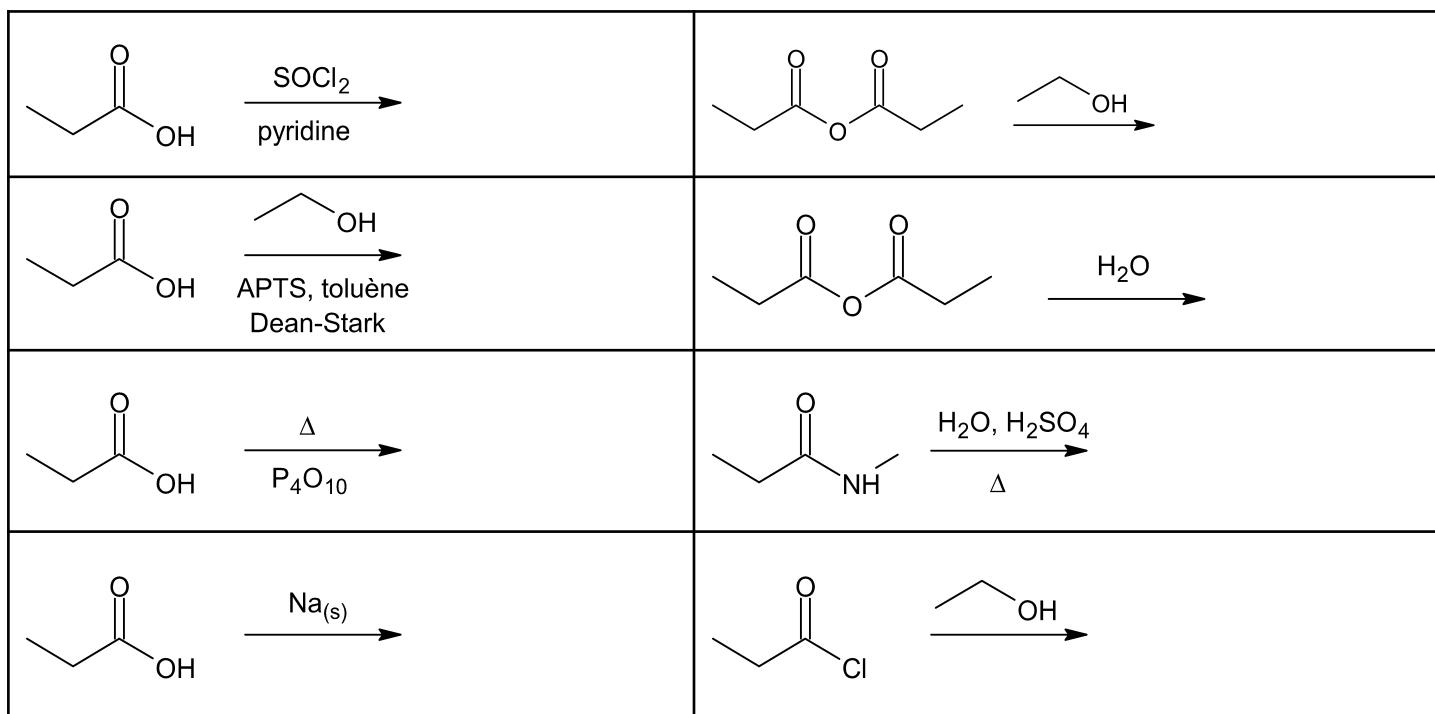
Groupe fonctionnel	σ (cm $^{-1}$)	Intensité
$\text{O}-\text{H}$ alcool	3 200 - 3 600	Forte et large
$\text{O}-\text{H}$ acide	2 500 - 3 300	Forte et large
$\text{C}=\text{O}$ ester saturé	1 735 - 1 750	Forte
$\text{C}=\text{O}$ ester conjugué	1 715 - 1 730	Forte
$\text{C}=\text{O}$ aldéhyde saturé	1 700 - 1 710	Forte
$\text{C}=\text{O}$ aldéhyde conjugué	1 680 - 1 690	Forte
$\text{C}=\text{O}$ cétone	1 705 - 1 725	Forte
$\text{C}=\text{O}$ cétone conjuguée	1 685 - 1 705	Forte
$\text{C}=\text{O}$ acide	1 700 - 1 720	Forte
$\text{C}=\text{O}$ carbamate (ROCONR')	1 690 - 1 710	Forte
$\text{C}=\text{C}$ alcène	1 640 - 1 690	Faible
$\text{C}=\text{C}$ alcène conjugué	1 600 - 1 650	Faible

Partie 2 :

A faire uniquement si vous n'arrivez plus à la partie précédente.

Cette partie rapporte beaucoup moins de points par question que la partie précédente.

Exercice 2.1. Donner les produits des réactifs suivants



Exercice 2.2 : Mécanisme en chimie organique

1. Ecrire le mécanisme de l'acétylation
2. Écrire le mécanisme de l'hydrolyse acide d'un amide.

Exercice 2.4 : Réactions de formation

Dans chaque cas, écrire l'équation de la réaction de formation du constituant proposé :

1. $\text{CO}_{2(s)}$
2. $\text{CH}_3\text{OH}_{(l)}$

Exercice 2.5 : Température de flamme

de plomb $\text{PbS}_{(s)}$. Il s'agit de la réaction de combustion de $\text{PbS}_{(s)}$ en présence de dioxygène $\text{O}_{2(g)}$ qui fournit $\text{PbO}_{(s)}$ et $\text{SO}_{2(g)}$. La réaction sera supposée totale.

1. Écrire l'équation bilan de cette réaction avec un coefficient stœchiométrique algébrique égal à -1 pour $\text{PbS}_{(s)}$.
2. Calculer l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r\text{H}^\circ$ à 298 K pour la réaction écrite à la question 1.
3. On part d'un mélange $\text{PbS}_{(s)} / \text{O}_{2(g)}$ dans les proportions stœchiométriques, à la température initiale $T_i = 298$ K. La réaction est menée de façon isobare adiabatique. Calculer la température de flamme.

Données : A 298 K :

	$\text{PbS}_{(s)}$	$\text{O}_{2(g)}$	$\text{N}_{2(g)}$	$\text{PbO}_{(s)}$	$\text{SO}_{2(g)}$
ΔH° en kJ.mol^{-1}	-100,4	0	0	-217,9	-296,9
$C^\circ_{p,m}$ en $\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$	49,5	29,4	29,1	45,8	29,9

On supposera que les capacités thermiques massiques à pression constante sont indépendantes de la température.

